# 棉秆剪切力与营养成分含量之间的相关关系

冯昕炜[1,2] 王林娜[1] 安志扬[1] 胡 方[1] 许贵善[1,2*]

（1.塔里木大学动物科学学院，阿拉尔 843300；2.新疆生产建设兵团塔里木畜牧科技重点实验室，阿拉尔 843300）

摘 要：本试验旨在研究棉秆剪切力与营养成分含量之间的相关关系。将棉秆按照近地面1/3(下 1/3)、中部 1/3（中 1/3）和上部 1/3（上 1/3）切为 3 段，测定各段的质量和长度，计算线性密度；测定茎秆和侧茎的剪切力及主要营养成分的含量。结果表明：棉秆线性密度及直径由上至下逐渐升高，3 段之间差异显著（$P<0.05$）；全株棉秆粗蛋白质含量为 8.78%；中性洗涤纤维含量在茎秆下 1/3 含量（62.54%）最高，棉叶中含量（35.51%）最低；棉秆茎秆中粗蛋白质及粗灰分含量与剪切力间呈负相关关系（$P<0.001$）；干物质、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维及半纤维素含量与剪切力呈正相关关系（$P<0.001$）。棉秆不同部位中，剪切力大小主要受其直径和营养成分含量的影响，棉秆的剪切力与营养成分含量之间具有较强的线性关系。

关键词：棉秆；剪切力；营养特性

中图分类号：S816.5

新疆是我国特大型棉花生产基地，棉秆资源非常丰富。2013年，新疆棉花总产量达340万t，按照棉花的谷草比2.18计算[1]，仅2013年，新疆可产棉秆741万t。但由于棉秆可食部分少，蛋白质含量低，纤维素、木质素含量高，限制了其在草食动物生产中的利用。因此，对棉秆不同部位的营养价值进行综合评定，在此基础上努力实现棉秆的精准收割，对充分利用棉秆资源，大力发展节粮型畜牧业具有重要意义。

饲料的营养价值评定是利用饲料资源的基础。饲料的营养价值评定方法包括化学分析法、康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系评定法（CNCPS）、体外发酵产气法、尼龙袋法等。剪切力是指垂直于作物表面，将之切断所需的力值。研究表明，剪切力技术有望成为一项选育提升牧草质量的测定工具，这项测定不仅能反映出动物的择食趋向，也可以鉴定饲草营养价值的

收稿日期：2016-05-23

基金项目：新疆生产建设兵团塔里木畜牧科技重点实验室开放课题重点项目（HS201301）

作者简介：冯昕炜（1977-），女，副教授，E-mail: fxwdky@126.com

*通信作者：许贵善，副教授，硕士生导师，E-mail: guishanxu@126.com

带格式的：突出显示

高低[2-4]。本试验以新疆丰富的棉秆资源为研究对象，以剪切力指标评价棉秆的营养价值为切入点，结合化学分析法，研究棉秆不同部位剪切力与营养成分含量之间的关系，为剪切力评价棉秆营养价值提供理论依据，为棉秆资源的高效利用提供基础数据。

## 1　材料与方法

### 1.1　试验材料

选择新疆阿拉尔垦区大面积种植的海岛棉人工采摘棉花后的秸秆为试验材料，对秸秆主要营养器官(茎秆、侧茎、叶片、棉壳)的剪切力等物理性状和营养成分含量进行了测定。

### 1.2　试验方法

#### 1.2.1　物理性状测定

在大田中随机选取棉花秸秆60株，实验室风干后分为5个重复，每个重复12株。将棉秆平放于地面，测量株高、株重；摘下全株棉秆上的侧茎、棉壳和棉叶后分别称重；将茎秆按照近地面1/3、中部1/3、和上部1/3切为3段，测定各段的质量和长度，计算线性密度[线性密度（g/mm）=质量/长度]；于各样段中点处用游标卡尺测其直径，在每一茎段的中点（测量直径处）垂直切断茎段，记录各茎段的剪切力，计算3段测定值的平均值，以每个重复12株棉秆的平均值为统计单位。剪切力测定选用的试验仪器为肌肉嫩度仪（数显，测定范围为0~2 000 N）。

#### 1.2.2　营养成分含量测定

将棉秆茎秆、棉壳、侧茎和棉叶风干后用小型粉碎机粉碎，过50目筛，测定主要营养成分的含量。其中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、有机物及中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）的含量参考《饲料分析及饲料质量检测技术》[5]进行测定。

### 1.3　数据处理

试验数据采用Excel 2007进行初步整理，统计分析采用SAS 9.1.3统计软件ANOVA进行分析，差异显著则用Duncan氏法进行多重比较。数据采用“平均值±标准差”形式表示。

## 2　结果与分析

### 2.1　棉秆形态学指标及剪切力

棉秆形态学指标及剪切力见表1。可见，当将棉秆平均分为3段时，其质量由上至下逐渐升高,且各段间差异显著（$P<0.05$）；线性密度及直径表现出同样的变化规律（$P<0.05$）。从

上、中、下3段上生长的侧茎质量来看，上1/3段侧茎质量最高，与中1/3段差异不显著（$P$＞0.05），但显著高于下1/3段（$P$＜0.05）。从剪切力分析，剪断棉秆茎秆上、中、下各段分别需要157.77、340.80和726.22 N，由上到下逐渐升高，3段间差异显著（$P$＜0.05）。

表 1　棉秆形态学指标及剪切力

Table 1　Morphological parameters and shearing forces of cotton stem

| 项目 Items | 上 1/3 Top 1/3 | 中 1/3 Middle 1/3 | 下 1/3 Bottom 1/3 |
|---|---|---|---|
| 高度 Height/cm | 18.18±1.86 | 18.18±1.57 | 18.18±1.69 |
| 质量 Mass/g | 8.04±2.42$^{c}$ | 10.98±3.68$^{b}$ | 13.55±4.60$^{a}$ |
| 线性密度 Linear density/(g/cm) | 0.44±0.09$^{c}$ | 0.58±0.11$^{b}$ | 0.75±0.21$^{a}$ |
| 直径 Diameter/mm | 5.98±0.76$^{c}$ | 7.08±0.77$^{b}$ | 8.07±0.97$^{a}$ |
| 侧茎质量 Lateral branch mass/g | 2.42±1.02$^{a}$ | 2.31±1.63$^{a}$ | 0.88±0.17$^{b}$ |
| 侧茎质量/全株质量 Lateral branch mass/whole plant mass/% | 7.43±2.15$^{a}$ | 7.09±0.77$^{a}$ | 2.70±0.11$^{b}$ |
| 剪切力 Shearing force/N | 157.77±69.62$^{c}$ | 340.80±101.59$^{b}$ | 726.22±219.38$^{a}$ |

同行数据肩标不同字母表示差异显著（$P$＜0.05）。下表同。

Values in the same row with different letter superscripts mean significant difference （$P$＜0.05）. The same as below.

## 2.2　棉秆不同部位营养成分含量

棉秆不同部位营养成分含量见表 2。干物质含量在全株、棉桃壳、棉叶、侧茎及茎秆不同部位间差异不显著（$P$＞0.05）。从棉秆不同部位粗蛋白质含量看，全株棉秆为 8.78%，仅次于棉叶（11.94%），二者之间差异显著（$P$＜0.05）；侧茎及茎秆上 1/3 粗蛋白质含量差异不显著（$P$＞0.05）；棉桃壳及茎秆下 1/3 的粗蛋白质含量差异不显著（$P$＞0.05），但均显著低于其他部位（$P$＜0.05）。钙含量最高的为侧茎，且显著高于其他部位（$P$＜0.05）。棉秆不同部位磷含量变化范围为 0.06%~0.11%。从 NDF 含量分析，茎秆下 1/3 NDF 含量（62.54%）最高，且显著高于棉桃壳、棉叶、上 1/3 侧茎及上 1/3 茎秆（$P$＜0.05），棉叶中 NDF 含量（35.51%）最低，与其他部位均差异显著（$P$＜0.05）。ADF 含量的变化规律为茎秆下 1/3＞侧茎下 1/3、侧茎下 2/3、茎秆中 1/3＞全株、茎秆上 1/3、棉桃壳＞棉叶。粗灰分含量在棉叶中最高，且显著高于其他部位（$P$＜0.05）。

表 2　棉秆不同部位营养成分含量

Table 2　Nutrient contents in different parts of cotton stem

| 项目 Items | 全株 Whole plant | 棉桃壳 Hull of cotton boll | 棉叶 Cotton leaves | 侧茎上 1/3 Lateral branch top 1/3 | 侧茎下 2/3 Lateral branch bottom 2/3 | 茎秆上 1/3 Stem top 1/3 | 茎秆中 1/3 Stem middle 1/3 | 茎秆下 1/3 Stem bottom 1/3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 干物质 DM | 92.72±0.58 | 92.52±0.66 | 92.78±0.71 | 93.09±0.21 | 93.14±0.73 | 92.93±0.44 | 93.38±0.54 | 94.66±0.22 |
| 粗蛋白质 CP | 8.78±0.43$^{b}$ | 5.79±0.40$^{e}$ | 11.94±0.91$^{a}$ | 7.93±0.66$^{c}$ | 7.86±0.17$^{c}$ | 7.85±0.11$^{c}$ | 6.79±0.80$^{d}$ | 5.88±0.68$^{e}$ |
| 钙 Ca | 0.62±0.04$^{b}$ | 0.44±0.09$^{c}$ | 0.68±0.11$^{b}$ | 0.77±0.13$^{a}$ | 0.74±0.09$^{a}$ | 0.66±0.18$^{b}$ | 0.65±0.19$^{b}$ | 0.65±0.22$^{b}$ |
| 磷 P | 0.09±0.01$^{ab}$ | 0.11±0.01$^{a}$ | 0.08±0.02$^{ab}$ | 0.09±0.01$^{ab}$ | 0.11±0.04$^{a}$ | 0.08±0.03$^{ab}$ | 0.08±0.02$^{ab}$ | 0.06±0.02$^{c}$ |
| 中性洗涤纤维 NDF | 55.00±3.18$^{ab}$ | 46.52±6.26$^{b}$ | 35.51±2.28$^{c}$ | 52.06±8.19$^{b}$ | 54.41±5.70$^{ab}$ | 45.21±3.88$^{b}$ | 53.63±11.97$^{ab}$ | 62.54±1.41$^{a}$ |
| 酸性洗涤纤维 ADF | 39.01±0.27$^{c}$ | 34.40±1.99$^{c}$ | 26.65±2.65$^{d}$ | 43.93±3.11$^{b}$ | 43.64±3.33$^{b}$ | 35.11±2.10$^{c}$ | 42.59±4.14$^{b}$ | 48.39±2.67$^{a}$ |
| 半纤维素 Hemicellulose | 15.99±1.10$^{a}$ | 12.12±3.29$^{c}$ | 8.86±1.68$^{f}$ | 8.13±2.72$^{f}$ | 10.77±2.94$^{e}$ | 10.10±4.00$^{e}$ | 11.04±3.75$^{d}$ | 14.15±3.99$^{b}$ |
| 粗灰分 Ash | 9.26±0.34$^{c}$ | 11.77±0.87$^{b}$ | 26.77±2.10$^{a}$ | 9.12±1.74$^{c}$ | 9.00±0.76$^{c}$ | 7.95±1.49$^{c}$ | 4.33±1.30$^{d}$ | 4.27±0.86$^{d}$ |

### 2.3 棉秆茎秆主要营养成分含量与剪切力的回归关系

棉秆茎秆主要营养成分含量与剪切力的回归关系见表 3。可见，利用棉秆剪切力可以预测其主要营养成分（干物质、粗蛋白质、NDF、ADF、半纤维素、粗灰分）的含量。其中棉秆茎秆中粗蛋白质及粗灰分含量与剪切力间呈负相关关系（$P$＜0.001）；干物质、NDF、ADF 及半纤维素含量与剪切力呈正相关关系（$P$＜0.001）。

表 3 棉秆茎秆营养成分含量（$Y$,%）与剪切力（$X$,N）的回归关系

Table 3 Regression relationships between nutrient contents （$Y$, %） and shearing force （$X$, N） of cotton stem

| 营养成分 Nutrient contents | 方程 Equations | RMSE | $r^2$ | $P$ 值 $P$-value |
|---|---|---|---|---|
| 干物质 DM | $Y$=(92.38±3.54)+(0.003±0.001)$X$ | 0.71 | 0.974 | <0.001 |
| 粗蛋白质 CP | $Y$=(8.355±1.21)－(0.003±0.001)$X$ | 0.38 | 0.903 | <0.001 |
| 中性洗涤纤维 NDF | $Y$=(40.98±4.75)+(0.032±0.011)$X$ | 2.12 | 0.893 | <0.001 |
| 酸性洗涤纤维 ADF | $Y$=(50.65±6.11)+(0.013±0.019)$X$ | 1.89 | 0.675 | <0.001 |
| 半纤维素 Hemicellulose | $Y$=(5.788±3.23)+(0.014±0.075)$X$ | 3.19 | 0.836 | <0.001 |
| 粗灰分 Ash | $Y$=(7.716±1.51)—(0.005±0.001)$X$ | 1.47 | 0.552 | <0.001 |

### 2.4 棉秆茎秆不同部位剪切力与直径间的回归关系

棉秆茎干茎秆不同部位剪切力与直径间的回归关系见表4。可见，棉秆不同部位与其直径间具有良好的线性回归关系（$r^2$在0.653~0.709；$P$<0.001）。由于在生产中剪切力需要专业的工具进行测量，不易获得，但可以通过其与棉秆直径的相互关系求得。

表 4 棉秆茎秆不同部位剪切力（$Y$,N）与直径($X$,mm)的回归关系

Table 4 Regression relationships between shearing force （$Y$, N） and diameter ($X$, mm) of different parts of cotton stem

| 不同部位剪切力 Shearing force of different parts | 方程 Equations | RMSE | $r^2$ | $P$ 值 $P$-value | $n$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 剪切力（上 1/3） Shearing force (top 1/3) | $Y$=—(101.5±11.17)+(47.02±5.45)$X$ | 6.82 | 0.653 | <0.001 | 60 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 剪切力（中 1/3） | Shearing force (middle 1/3) | $Y=-(132.8\pm21.09)+(65.19\pm7.77)X$ | 4.29 | 0.709 | <0.001 | 59 |
| 剪切力（下 1/3） | Shearing force (bottom 1/3) | $Y=-(615\pm33.82)+(164.9\pm11.35)X$ | 9.19 | 0.626 | <0.001 | 59 |

## 3 讨 论

### 3.1 棉秆不同部位的营养价值

棉秆是新疆、尤其是南疆地区发展草食家畜的主要粗饲料之一，但由于其纤维化程度高，可食部分少，粗蛋白质含量低且含有游离棉酚，制约了棉秆的有效利用，也限制了南疆草食家畜养殖的快速发展。有学者认为，粗饲料营养价值的高低取决于营养成分含量和动物采食量，食物形态学特性和营养成分直接影响牧草利用率和动物采食[6]。任广跃等[7]分析了棉秆不同部位的营养成分，从主要营养成分之一的粗蛋白质含量看，茎秆粗蛋白质含量为5.7%，侧茎为6.8%。本试验中，将茎秆平均分为上、中、下3部分，粗蛋白质含量在7.85~5.88；侧茎上1/3粗蛋白质含量为7.93%，侧茎下2/3含量为7.86%，上部侧茎略高于下部，但总体测定结果略高于上述学者报道的结果。造成结果之间差异的原因可能与棉花的品种、种植区域、光照条件、土地肥力和灌溉等因素有关。另外，本试验结果也显示，当将棉秆茎秆分为上、中、下3部分时，粗蛋白质含量呈现出从下而上逐渐升高而NDF和ADF逐渐降低的规律，侧茎变化规律相同。从棉秆植株的生长规律看，上部茎秆较为纤细而下部茎秆较为粗壮，结合剪切力测定结果，可以得到剪切力越大，粗蛋白质含量越低而NDF和ADF含量越高的初步结论。

### 3.2 剪切力预测棉秆中营养成分含量的可行性分析

剪切力是指垂直于作物表面，将之切断所需的力值[8]，能较为客观地反映出饲草的可食性、咀嚼的难易程度及营养价值，也可以作为饲草选择的依据。Iwaasa等[9-10]利用剪切力技术研究了作物茎秆的断裂性能，结果显示，剪切力与作物的直径、质量和线性密度密切相关，这些因素比秸秆细胞壁的化学组成更为重要。Hughes等[11]研究了12种臂形草属的叶片剪切力与其营养成分含量之间的关系，结果表明，剪切力与NDF、ADF及木质素含量之间的$r^2$分别为0.74、0.82和0.80，认为在牧草选择时选用剪切力指标比营养成分含量更准确快捷。剪切力的大小受诸多因素的影响，如茎的粗细、茎厚、线性密度及营养成分含量，其中植物的营养成分含量和线性密度是重要的影响因素[12]。刘丽等[13]研究了姜苗茎的剪切力与其形态学指标、营养成分含量和瘤胃降解率之间的关系，得到了剪切力可以作为作物秸秆营养价值估测指标的结论。该学者还研究了盛花期紫花苜蓿与灌浆期冬牧70黑麦草形态学、营养成

分含量和营养成分48 h瘤胃降解率与剪切力之间的关系，结果显示，2种牧草茎剪切力均受形态学指标和营养成分含量的影响，在剪切力与瘤胃降解率的关系上，利用剪切力可以估测紫花苜蓿茎营养成分瘤胃降解率，但黑麦草茎剪切力与营养成分瘤胃降解率之间关系不显著[6]。本试验中，棉秆茎秆NDF、ADF和半纤维素含量与剪切力之间$r^2$分别为0.893、0.675和0.836，和Hughes等[11]学者的研究结果相似。本试验对棉秆茎秆中主要营养成分（干物质、粗蛋白质、NDF、ADF等）含量与剪切力进行相关关系分析，结果表明，剪切力与上述营养指标$r^2$变化范围在0.552~0.974，说明棉秆剪切力与主要营养成分含量间具有较强的线性关系，但是否可以利用剪切力为因子预测棉秆中营养成分的含量需要进一步做深入研究。

## 4　结　论

棉秆不同部位中，剪切力大小主要受其直径和营养成分含量的影响，棉秆的剪切力与营养成分含量之间具有较强的线性关系。

参考文献：


[1]　田宜水,孟海波.农作物秸秆开发利用技术[M].北京:化学工业出版社,2009.

[2]　王兆凤,杨在宾,杨维仁,等.玉米植株剪切力与其饲料特性变化规律和相互关系的研究[J].中国农业科学,2012,45(3):509–521.

[3]　郭颖杰,胡晓丽,刘庆福.不同收获期玉米秸秆剪切力学性能的研究[J].安徽农业科学,2013,41(21):9133–9135.

[4]　张慧,侯加林,郎需强,等.便携式农作物茎秆剪切力测试仪的设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(5):131–135.

[5]　张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[6]　刘丽,杨在宾,杨维仁,等.紫花苜蓿和黑麦草茎形态学、化学组成和养分瘤胃降解率与剪切力的相互关系[J].中国农业科学,2009,42(9):3374–3380.

[7]　任广跃,朱文学,张仲欣,等.棉秆营养价值及其饲用模式分析[J].粮食与饲料工业,2009(10):28–30.

[8]　王兆凤,杨在宾,杨维仁,等.不同收获期玉米植株剪切力及其饲料营养特性的研究[J].山东农业大学学报:自然科学版,2012,42(1):38–42.

[9]　IWAASA A D,BEAUCHEMIN K A,BUCHANAN-SMITH J G,et al.A shearing technique

measuring resistance properties of plant stems[J].Animal Feed Science and Technology,1996,57(3):225–237.

[10] IWAASA A D,BEAUCHEMIN K A,ACHARYA S N,et al.Shearing force of alfalfa stems as affected by seeding rate[J].Canadian Journal of Plant Science,1998,78(2):273–280.

[11] HUGHES N R G,DO VALLE C B,SABATEL V,et al.Shearing strength as an additional selection criterion for quality in *Brachiaria ecotypes*[J].The Journal of Agricultural Science,2000,135(2):123–130.

[12] 崔秀梅.作物秸秆剪切力与其饲料营养特性变化规律及相互关系的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2012.

[13] 刘丽,杨在宾,杨维仁,等.姜苗茎剪切力研究[J].草业科学,2009,26(11):118–124.

Correlations between Shearing Force and Nutrient Contents of Cotton Stem

FENG Xinwei[1,2] WANG Linna[1] AN Zhiyang[1] HU Fang[1] XU Guishan[1,2*]

(1. *College of Animal Science, Tarim University, Alar* 843300, *China*; 2. *Key Laboratory of Tarim Animal Husbandry Science and Technology, Xinjiang Production & Construction Group, Alar* 843300, *China)*

Abstract: This experiment was conducted to study the correlations between shearing force and nutrient contents of cotton stem. Cotton stems were cut into three parts at 1/3 from bottom (bottom 1/3), 1/3 in the middle (middle 1/3) and 1/3 from top (top 1/3), respectively. The mass and length of different parts were tested, and the linear density was calculated; the shearing force and main nutrient contents of stem and lateral branch were determined. The results showed as follows: the linear density and diameter increased from top to bottom, and the differences among three parts were significant ($P$<0.05); crude protein content of whole cotton stem was 8.78%; neutral detergent fibre content in stem bottom 1/3 was the highest (62.54%), while that in cotton leaves was the lowest (35.51%); crude protein and ash contents had negative correlations with shearing force ($P$<0.001); dry matter, neutral detergent fibre, acid detergent fibre and hemicellulose had positively correlations with shearing force ($P$<0.001). In conclusion, in different parts of cotton

*Corresponding author, associate professor, E-mail： guishanxu@126.com (责任编辑 王智航)

stem, shearing force is mainly affected by diameter and nutrient contents, and strong linear relationships exist between shearing force and nutrient contents.

Key words: cotton stem; shearing force; nutrition characteristic